



DEUTSCHES
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 39 23 356.1-34
22 Anmeldetag: 14. 7. 89
43 Offenlegungstag: —
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 7. 2. 91

DE 3923356 C1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Maho AG, 8962 Pfronten, DE

74 Vertreter:

Beetz sen., R., Dipl.-Ing.; Beetz jun., R., Dipl.-Ing.
Dr.-Ing.; Timpe, W., Dr.-Ing.; Siegfried, J., Dipl.-Ing.;
Schmitt-Fumian, W., Prof. Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;
Mayr, C., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 8000
München

72 Erfinder:

Grund, Peter, Dr.-Ing., 8959 Rieden, DE; Eberl,
Günter, Dr.-Ing., 8963 Waltenhofen, DE; Sutor, Uli,
Dipl.-Phys., 8962 Pfronten, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 35 44 396 A1
DE 24 43 334 A1
DE 87 01 354 U1
CH 4 53 523

JP-DS »Pat. abstr. of Japan«, 1984, Vol. 8/No. 152,
Sec. M-309;

54 Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von Hohlräumen in Maschinenwerkstücken mittels Laserstrahls

Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen von Hohlräumen in massiven Werkstücken mittels Laserstrahls, bei dem das Material durch hin- und hergehende Vorschubbewegungen in dicht nebeneinanderliegenden Führungsbahnen vom Laserstrahl abgetragen wird. Gemäß der Erfindung wird der Laserstrahl während jedes linienförmigen Abtragsvorgangs um einen vorgegebenen Winkel geschwenkt und das Werkstück wird gleichzeitig auf einem Kreisbogen um die Schwenkachse des Laserstrahls synchron hin- und herbewegt. Nach dem Abtragen einer Materialschicht wird dieser Abtragsvorgang bis zum Erreichen der vorgegebenen Tiefe des Hohlraums wiederholt.

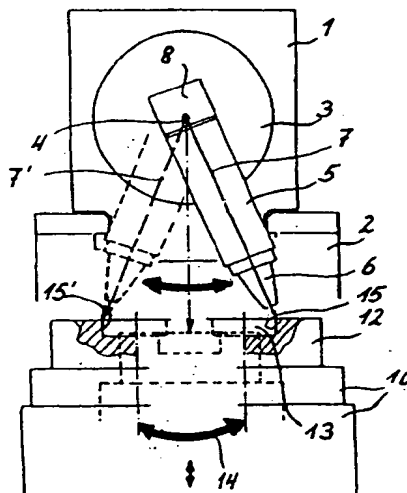


Fig. 1

DE 3923356 C1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen von Hohlräumen in massiven Werkstücken mittels eines Laserstrahls der im Oberbe-
griff des Patentanspruchs 1 und 4 jeweils angegebenen Gattung.

Die Herstellung von größeren taschen- bzw. kammerförmigen Hohlräumen in massiven Werkstücken, insbesondere von Gesenken und Formwerkzeugen, erfolgt bisher in der Regel durch elektroerosive und/oder spanende Materialabtragung auf dem auf einem motorisch verfahrbaren Tisch aufgespannten Werkstück. Mit der Entwicklung leistungsstarker Laserstrahl-Anlagen ist deren Anwendungsbereich auch auf die Werkstückab-
tragung erweitert worden.

So ist beispielsweise aus dem DE-GM 87 01 354.1 ein Verfahren bekannt, bei dem jeweils zwei gegensinnig geneigte und sich auf einer Linie kreuzende Schrägschnitte in das Werkstück eingebracht werden. Durch anschließendes Einbringen von stirnseitigen Schnitten entstehen langgestreckte keilförmige Segmente, die nach ihrem Herausheben prismatische Ausnehmungen freigeben. Die jeweils zwischen zwei benachbarten Ausnehmungen verbleibenden langgestreckten Höcker werden durch nachfolgende artgleiche Schneidvorgänge mit gegensinnig geneigtem Laserstrahl entfernt. Es hat sich jedoch gezeigt, daß mit diesem Verfahren ein ebener und ausreichend glatter Boden der Ausnehmung nicht hergestellt werden kann. Darüber hinaus können sich im Bereich der sich kreuzenden Schneidlinien Schweißverbindungen durch wieder erstarrendes Material ergeben, welche ein Herausheben der geschnittenen Segmente verhindern.

Aus der DE-OS 24 43 334 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Gravieren von Oberflächen mit einem Laserstrahl bekannt, bei welcher der Laserstrahl in dicht nebeneinander liegenden parallelen Linien die Werkstückoberfläche überstreicht und dabei das Material aus der herzustellenden Gravur abträgt. Bei einem ähnlichen Vorgehen zur Herstellung flacher Ausnehmungen in keramischen Werkstücken gemäß der JP-OS 59-47 086 wird das Material durch den hin- und hergehenden Laserstrahl in dicht nebeneinander liegenden Bahnen erschmolzen und mittels eines Druckfluids entfernt. Mit diesen bekannten Verfahren lassen sich jedoch tiefere Ausnehmungen mit senkrechten oder hinterschnittenen Seitenwänden nicht herstellen. Im Bereich der Seitenwände ergeben sich nämlich veränderte Absorptions- und Reflexionsbedingungen für den senkrecht zur Werkstückoberfläche auftreffenden Laserstrahl, die dazu führen, daß die Seitenwand nicht senkrecht zur Werkstückoberfläche, sondern mit einer gewissen Neigung nach innen verläuft. Bei gravurähnlichen Ausnehmungen von geringer Tiefe können diese Seitenwandneigungen und auch eine abgerundete Kehle im Seitenwandgrund akzeptiert werden. Bei tieferen Ausnehmungen sind jedoch derartig geneigte Innenwände häufig unerwünscht.

Aus der DE 35 44 396 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung von Öffnungen mit schrägen Schnittkanten in Blechformkörpern bekannt, bei dem das Werkstück in einem vorgegebenen spitzen Winkel zur Längsachse eines Laserarbeitsstrahls positioniert und die durchgehende Öffnung durch ein- oder mehrmaliges zeilenförmiges Abrastern in das Blech eingeschnitten wird.

In der CH 453 523 ist eine Laser-Schneidmaschine beschrieben, die einen motorisch hin- und herbewegba-

ren Werkstücktisch, eine Laseranlage mit Laserquelle, motorisch bewegbare Strahlführungs- und Fokussierelemente sowie eine Programmsteuerung für die Laseranlage und die Vorschubmotoren aufweist. Zum Schneiden von schlitzförmigen Öffnungen formen die Strahlführungselemente den ursprünglich kreisförmigen Querschnitt des Laserstrahls zu einem rechteckigen Querschnitt um.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Herstellen von Hohlräumen in massiven Werkstücken mittels Laserstrahls aufzuzeigen, mit dem auch tiefere Ausnehmungen mit relativ glatten, zur Werkstückoberfläche senkrechten oder hinterschnittenen Seitenwänden und mit ebenem glattem Boden hergestellt werden können.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im jeweiligen Kennzeichen der Patentansprüche 1 bzw. 2 angegebenen Maßnahmen gelöst.

Durch die erfindungsgemäße Verknüpfung der Verschwenkbewegung des Laserstrahls mit der pendelförmigen Hin- und Herbewegung des Werkstücktisches trifft der Laserstrahl unter einem einstellbaren Winkel auf das Werkstück auf, wobei sich während der synchronisierten Bewegungen der Abstand des Brennflecks bzw. Bearbeitungspunktes von der Schwenkachse des Lasers nicht ändert. Diese relative Schräglage des Laserstrahls am Ende jeder Bewegungsperiode ermöglicht die Herstellung von zur Werkstückoberfläche senkrechten und auch hinterschnittenen Seitenwänden der Ausnehmung auch bei einer mehrfachen Wiederholung der Abtragsvorgänge, wobei eine nahezu ebene und glatte Bodenfläche der Ausnehmung nach jedem schichtweisen Abtrag mit ausgeprägten scharfen Ecken am Übergang zu den Seitenwänden erhalten wird. In Versuchen hat sich nämlich gezeigt, daß bei einem senkrechten Auftreffen des Laserstrahls auf die Werkstückoberfläche an den Endkanten der Werkstückausnehmung ein unvollständiger Materialabtrag offensichtlich durch Phänomene der Teilreflexion bzw. -absorption auftritt, der insbesondere bei der wiederholten Durchführung der Abtragsvorgänge zur Herstellung tieferer Ausnehmungen zu einem nach innen geneigten Verlauf der Seitenwände führte. Darüber hinaus wird durch die Synchronisation der Schwenkbewegung des Lasers mit der jeweiligen Vorschubbewegung des Werkstücks auf einer kreisbogenförmigen Bahn eine gleichmäßige Relativgeschwindigkeit des Laserstrahls gegenüber dem Werkstück erzielt, welche eine gleichbleibende Absorption des Laserstrahls und damit die Bildung einer ebenen Bodenfläche gewährleistet. Unterstützt werden diese Effekte noch durch eine entsprechende Steuerung der Laserleistung in Abhängigkeit von der Vorschubgeschwindigkeit des Brennflecks, beispielsweise durch eine Verringerung der Laserleistung im Bereich der jeweiligen Seitenwand der Ausnehmung, um die in diesem Bereich zwangsläufig auftretende Vergrößerung der Verweildauer des Brennflecks zu kompensieren. Durch die Neigung der Mehrkanaldüse ergibt sich ferner der Vorteil eines effektiven Austriebs von abgetragenem Material, da ein Druckgradient entsteht, der ein Festsetzen von schmelzförmigen Materialpartikeln auf dem Taschengrund verhindert. Dieser Effekt wird noch verstärkt durch die koaxiale und/oder schräge Zuführung eines Fluids auf den Brennfleck, wobei dieses Fluid ein Druckgas, wie Luft, Sauerstoff oder ein Inertgas, und/oder auch eine geeignete Flüssigkeit sein kann.

Um bearbeitungsbedingte Unregelmäßigkeiten an den Seitenwänden und auf dem Boden der Ausnehmung

auszugleichen, wird gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens das Werkstück um 90° um seine Hochachse (B-Achse) verdreht, bevor der schichtweise Abtragsvorgang wiederholt wird. Die Anzahl an Wiederholungen des schichtweisen Abtragsvorgangs bestimmt die Oberflächenrauigkeiten bzw. die Glätte des Bodens, wobei durch die Steuerung weiterer Betriebsparameter, wie die Laserleistung, die Geschwindigkeit der Schwenkbewegung, die Tastfrequenz u. dgl. die Ebenheit und Glätte der Bodenfläche weiter vorteilhaft beeinflusst werden kann.

Gegenstand der Erfindung ist ferner eine Vorrichtung zur Herstellung von relativ tiefen taschen- bzw. kammerförmigen Hohlräumen in einem massiven Werkstück mittels eines Laserstrahls, die einen motorisch hin- und herbewgbaren Werkstücktisch, eine Laseranlage mit Laserquelle, motorisch bewegbare Strahlführungs- und Fokussierelemente für den Laserstrahl sowie eine Programmsteuerung für die Laseranlage und die Vorschubmotoren aufweist. Erfindungsgemäß ist an der vorderen Stirnseite eines Ständers ein motorisch um die Achse des horizontalen Laserstrahls verdrehbarer Schwenkkopf mit einem integrierten Reflektor montiert, welcher den Laserstrahl um 90° in eine vertikale Ebene umlenkt. Ferner ist der Werkstücktisch zur Ausführung einer hin- und hergehenden Vorschubbewegung auf einer kreisbogenförmigen Bahn in vertikaler und horizontaler Richtung verfahrbar ausgebildet.

Gemäß einer zweckmäßigen Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann der Werkstücktisch um eine zur Vorschubrichtung parallele horizontale Achse in vorgegebenen Grenzen motorisch verschwenkbar ausgebildet sein. Je nach der Form und Tiefe der herzustellenden Ausnehmungen kann der Werkstück-Schwenktisch hin- und hergehende Kippbewegungen ausführen, die zu den einer Kreisbogenbahn folgenden Vorschubbewegungen führen. Zu diesem Zweck ist der Werkstücktisch an einer Konsole befestigt, welche am Ständer vertikal beweglich geführt ist.

Die Erfindung wird anhand den in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen im folgenden ausführlicher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch das Funktionsprinzip eines Abtragsvorgangs;

Fig. 2 eine Variante der in Fig. 1 dargestellten Materialabtragung;

Fig. 3 eine Bearbeitungsvorrichtung gemäß der Erfindung mit integrierter Laserstrahlanlage in perspektivischer Darstellung;

Fig. 4 eine Bearbeitungsvorrichtung mit einer gesonderten Laser-Anlage;

Fig. 5 eine zweckmäßige Ausführung einer am Laser-Schwenkkopf montierten Düse.

In Fig. 1 ist in Stirnansicht ein kastenförmiger Schlitten 1 dargestellt, der auf der ebenen Oberfläche eines Maschinenständers 2 in Richtung senkrecht zur Zeichenebene verfahrbar ist und an seiner Stirnseite einen Schwenkkopf 3 trägt. Die Horizontalbewegungen des kastenförmigen Schlittens 1 und die Schwenkbewegungen des Schwenkkopfes 3 um die Achse 4 erfolgen mittels nicht dargestellter Elektromotoren. Am Schwenkkopf 3 ist ein Führungsrohr 5 befestigt, der an seinem unteren Ende eine Mehrkanal-Düse 6 trägt. Ein durch Pfeile angedeuteter Laserstrahl 7 verläuft im kastenförmigen Gehäuse 1 horizontal in der Schwenkachse 4 und wird durch einen am oberen Ende des Führungsrohrs 5 schräg angeordneten Spiegel 8 in eine Vertikalebene umgelenkt.

Auf einem Werkstücktisch 10 ist ein massives Werkstück 12 aufgespannt, in das eine kammerförmige Ausnehmung 13 eingearbeitet wird. Der Werkstücktisch 10 führt hin- und hergehende Vorschubbewegungen auf einer durch den Pfeil 14 angedeuteten kreisbogenförmigen Bahn aus, die mit den Schwenkbewegungen des Schwenkkopfes 3 und damit des Laserstrahls 7 synchronisiert sind. Am Ende einer Abtragsperiode steht der Schwenkkopf 3 mit dem daran befestigten Führungsrohr 5 in der in durchgezogenen Linien dargestellten Position, so daß der Laserstrahl 7 unter einem vorgegebenen Neigungswinkel auf die Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks 12 bzw. auf die Seitenwand 15 der bereits teilweise hergestellten Ausnehmung 13 auftrifft. In diesem Zustand befindet sich der Werkstücktisch 10 mit dem aufgespannten Werkstück 12 in seiner oberen rechten Endlage. Ausgehend von diesem Endzustand wird der Schwenkkopf 3 und damit auch der Laserstrahl 7 sowie gleichzeitig der Werkstücktisch 10 mit dem Werkstück 12 nach links bewegt, wobei in der gestrichelt dargestellten Mittelposition der Werkstücktisch 10 entsprechend seiner kreisbogenförmigen Bewegungsbahn abgesenkt und in der strichpunktiert dargestellten linken Endstellung wieder angehoben ist. Die Geschwindigkeiten der Schwenkbewegung des Laserstrahls 7 und der Vorschubbewegung des Werkstücktisches 10 sind so aufeinander abgestimmt, daß sich der Brennfleck des Laserstrahls mit der von verschiedenen Parametern, z. B. dem Werkstückmaterial, abhängigen optimalen Relativgeschwindigkeit bewegt. In der in Fig. 1 linken Endstellung trifft der ebenfalls nach links verschwenkte Laserstrahl 7' unter dem gleichen Neigungswinkel auf die Werkstückoberfläche bzw. die Seitenwand 15' der Ausnehmung auf.

Durch diese Vorgehensweise wird erreicht, daß auch bei wiederholtem schichtweisem Abtragen des Materials in Form von meanderförmig dicht nebeneinanderliegenden Linien vertikale Seitenwände entstehen und Ablagerungen insbesondere am Fuß der Seitenwände vermieden werden. Durch eine entsprechende Wahl des Schwenkwinkels des Laserstrahls 7 können auch hinter-schnittene Seitenwände hergestellt werden, wie dies bei Gesenkformen häufig gewünscht wird. Um nicht nur — wie in Fig. 1 gezeigt — die Stirnwände 15, 15', sondern auch die beiden Längswände der Ausnehmung 13 vertikal bzw. hinterschnitten ausführen zu können, wird der Werkstücktisch nach dem linienförmigen Abtragen einer Materialschicht um seine Hochachse um 90° gedreht, so daß dann die Längswände der Ausnehmung quer zur Vorschubbewegung verlaufen. Gleichzeitig kann das Werkstück um die Dicke der bereits abgetragenen Schicht vertikal zugestellt werden, damit die Fokussierung des Laserstrahls und damit die Größe des Brennflecks erhalten bleibt. Beim Abtragen der letzten Materialschicht ist es zur Erzielung eines glatten ebenen Bodens zweckmäßig, eine Defokussierung des Laserstrahls gezielt vorzunehmen, um durch die weniger scharfe Bündelung einen Glättungseffekt auf der Bodenfläche zu erzielen.

Die Variante nach Fig. 2 unterscheidet sich von dem Vorgehen nach Fig. 1 nur durch die Verwendung eines um eine horizontale Achse 18 motorisch schwenkbaren und in Richtung dieser Achse verschiebbaren Schwenktisches 20, der — ebenso wie der Werkstücktisch 10 — an einer vertikal verfahrbaren Konsole montiert ist (vgl. Fig. 3, 4). Durch eine Vorschubbewegung des Gehäusekastens 1 mit dem stirnseitig daran montierten Schwenkkopf 3 in die gestrichelt dargestellte vordere

Stellung und eine mit dieser synchronisierten Schwenk- bzw. Kippbewegung des Werkstücktisches 20 um die Achse 18, kann bei dieser Ausführung die schräge Relativlage zwischen dem Werkstück und dem Laserstrahl erzielt werden.

Fig. 3 zeigt eine Werkzeugmaschine zum Laserfräsen von kammerartigen Hohlräumen in Werkstücken, bei welcher eine bekannte CO₂-Laserstrahl-Anlage 23 über eine geeignete Tragkonstruktion 24 am Maschinenständer 2 montiert ist. Ein im Gehäusekasten 1 zentral angeordnetes Teleskoprohr 24 dient der Führung des horizontalen Laserstrahls 7. Der an der Stirnseite des Gehäusekastens 1 montierte Schwenkkopf 3 ist in Richtung des Doppelpfeils C zusammen mit dem hier kastenförmig ausgeführten Düsenhalter 5 verschwenkbar. An stirnseitigen Vertikalführungen 25 des Ständers 2 ist eine Konsole in Richtung des Doppelpfeils Y vertikal verfahrbar, die an ihrer Stirnseite Horizontalführungen 26 zur in Richtung des Doppelpfeils X verfahrbaren Halterung eines Schlittens 27 aufweist. An der Stirnseite dieses Schlittens 27 ist eine Aufnahmewanne 28 befestigt, in der ein Tischträger 29 in Richtung des Doppelpfeils A verdrehbar aufgenommen ist. Der Werkstücktisch 10 ist auf der Oberseite dieses Trägers um seine Hochachse in Richtung des Doppelpfeils B verdrehbar angeordnet. Die einzelnen Bewegungen der verschiedenen Bauteile werden durch nicht dargestellte Elektromotoren mit bekannten Übertragungsmitteln ausgeführt.

Die in Fig. 4 dargestellte Bearbeitungsvorrichtung entspricht im wesentlichen der Ausführung nach Fig. 3 und unterscheidet sich von dieser nur durch die gesondert ausgeführte Laserstrahl-Anlage 23, die auf einem eigenen Traggestell 30 montiert ist.

In Fig. 5 ist eine besonders zweckmäßige Strahldüse 6 dargestellt, welche bei kompaktem Aufbau eine gesonderte Zufuhr von unterschiedlichen Fluiden zum Brennfleck des Laserstrahls 7 ermöglicht. Diese Düse enthält einen kegelförmigen Außenmantel 30, in dessen Innenraum ein Kern 31 unter Ausbildung eines engen Kanals 32 angeordnet ist. Dieser Kanal 32 kann eine durchgehend konische Form haben oder es können eine Vielzahl von gleichartigen Einzelkanälen vorgesehen sein. An der ebenen Oberseite des Mantels 30 und des Kerns 31 ist ein Zwischenstück 33 befestigt, in welchem ein Ringkanal 34 ausgebildet ist, der mit der oberen Einströmöffnung des konischen Kanals 32 in Strömungsverbindung steht. Dieser Ringkanal 34 wird über einen Stutzen 35 mit einem Hochdruckgas, z. B. mit Druckluft von 3 bis 10 bar, beaufschlagt. Im Kern 31 ist eine zentrale mehrfach abgestufte Durchgangsbohrung 36 ausgebildet, welche den zentralen Laserstrahl 7 umgibt und der koaxialen Zufuhr eines Hilfsgases zum Auftreffpunkt bzw. Brennfleck 37 des Laserstrahls dient.

Die Erfindung ist nicht auf die dargestellte Ausführung beschränkt. So können beispielsweise andere geeignete Werkstücktische verwendet werden, die eine Werkstückbewegung mit horizontalen und vertikalen Komponenten auf einer kreisbogenförmigen Bahn ermöglichen. Ferner kann die Laserstrahl-Anlage auch in den horizontal verschiebbaren Gehäusekasten integriert werden.

schubbewegungen in dicht nebeneinanderliegenden Bahnen vom Laserstrahl erschmolzen und mittels eines Druckfluids entfernt wird, **dadurch gekennzeichnet,**

daß der Laserstrahl während jedes linienförmigen Abtragsvorgangs um einen vorgegebenen Winkel geschwenkt und das Werkstück gleichzeitig so bewegt wird, daß sich der jeweilige Bearbeitungspunkt auf einem Kreisbogen um die Schwenkachse des Laserstrahls befindet, und

daß nach dem Abtragen einer Materialschicht dieser Abtragsvorgang bis zum Erreichen der vorgegebenen Tiefe des Hohlraums ein oder mehrere Male wiederholt wird.

2. Verfahren nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl während jedes linienförmigen Abtragsvorgangs horizontal hin- und herbewegt wird und das Werkstück gleichzeitig synchrone Schwenk- und Hubbewegungen ausführt derart, daß sich der jeweilige Bearbeitungspunkt auf einer Parallelen zur Richtung der Hin- und Herbewegung des Laserstrahls befindet, und

daß nach dem Abtragen einer Materialschicht dieser Abtragsvorgang bis zum Erreichen der vorgegebenen Tiefe des Hohlraums ein oder mehrere Male wiederholt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß nach Abtrag einer Schicht das Werkstück um jeweils 90° zur Schwenk- oder Hin- und Herbewegung des Laserstrahls gedreht wird.

4. Vorrichtung zur Herstellung von taschen- bzw. kammerförmigen Hohlräumen in einem massiven Werkstück mittels eines Laserstrahls, die einen motorisch hin- und herbewegbaren Werkstücktisch, eine Laseranlage mit einer Laserquelle, motorisch bewegbare Strahlführungs- und Fokussierelemente für den Laserstrahl und eine Programmsteuerung für die Laseranlage und die Vorschubmotoren aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß an der Vorderseite eines Ständers (2) ein motorisch um die Achse des horizontalen Laserstrahls (7) verdrehbarer Schwenkkopf (6) mit einem integrierten Reflektor (8) montiert ist, welcher den Laserstrahl um 90° in eine vertikale Ebene umlenkt, und daß der Werkstücktisch (10) zur Ausführung einer hin- und hergehenden Vorschubbewegung auf einer kreisbogenförmigen Bahn in vertikaler und horizontaler Richtung verfahrbar ausgebildet ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Werkstücktisch (10) um eine zur Vorschubbewegung parallele horizontale Achse (18) in vorgegebenen Grenzen motorisch verschwenkbar ausgebildet ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwenkkopf (3) an der Stirnseite eines horizontal am Maschinenständer (2) verfahrbaren Schlittens montiert ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahl-Anlage (23) über eine Tragkonstruktion (24) am Ständer (2) montiert ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen von Hohlräumen in massiven Werkstücken mittels Laserstrahls, bei dem das Material durch hin- und hergehende Vor-

— Leerseite —

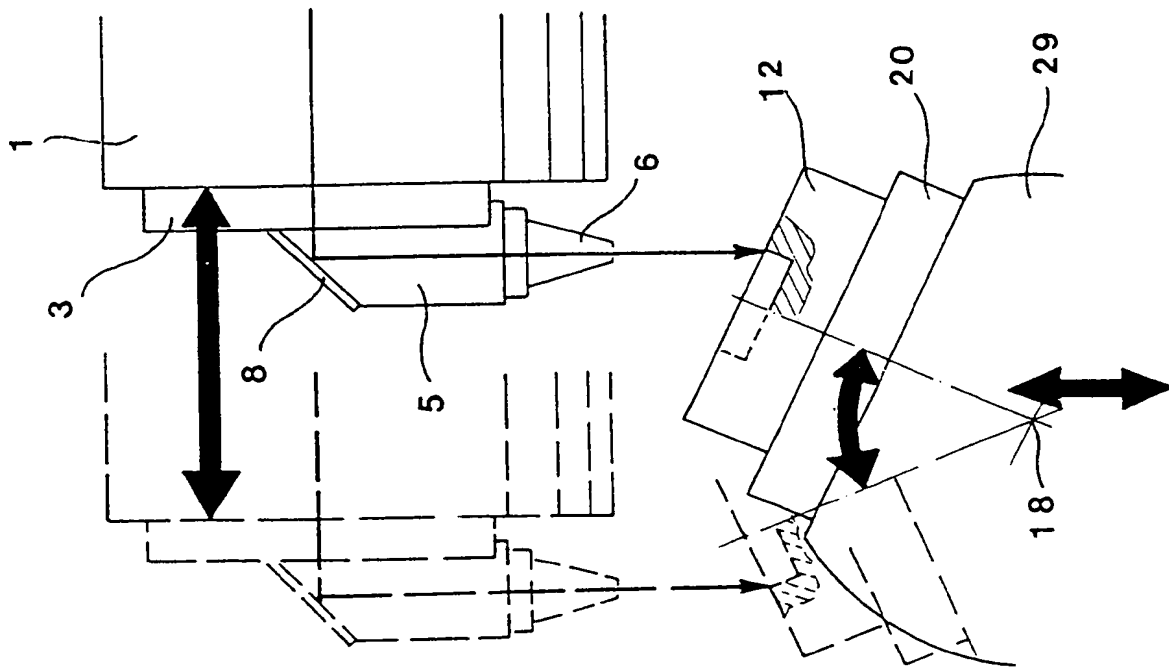


FIG. 2

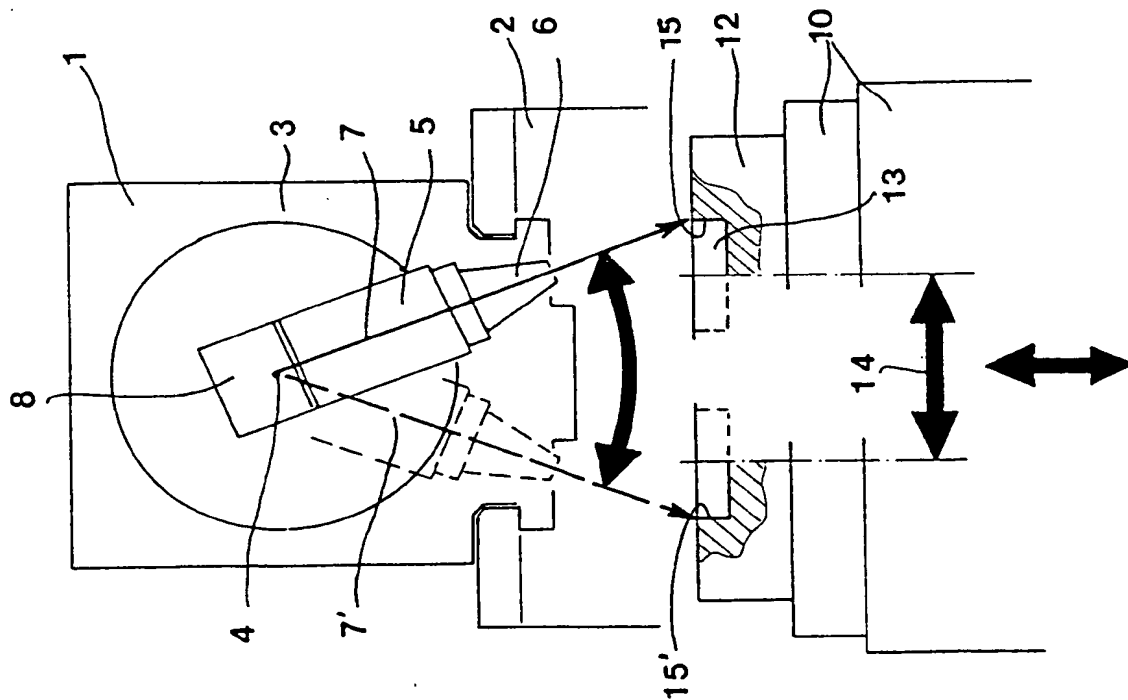


FIG. 1

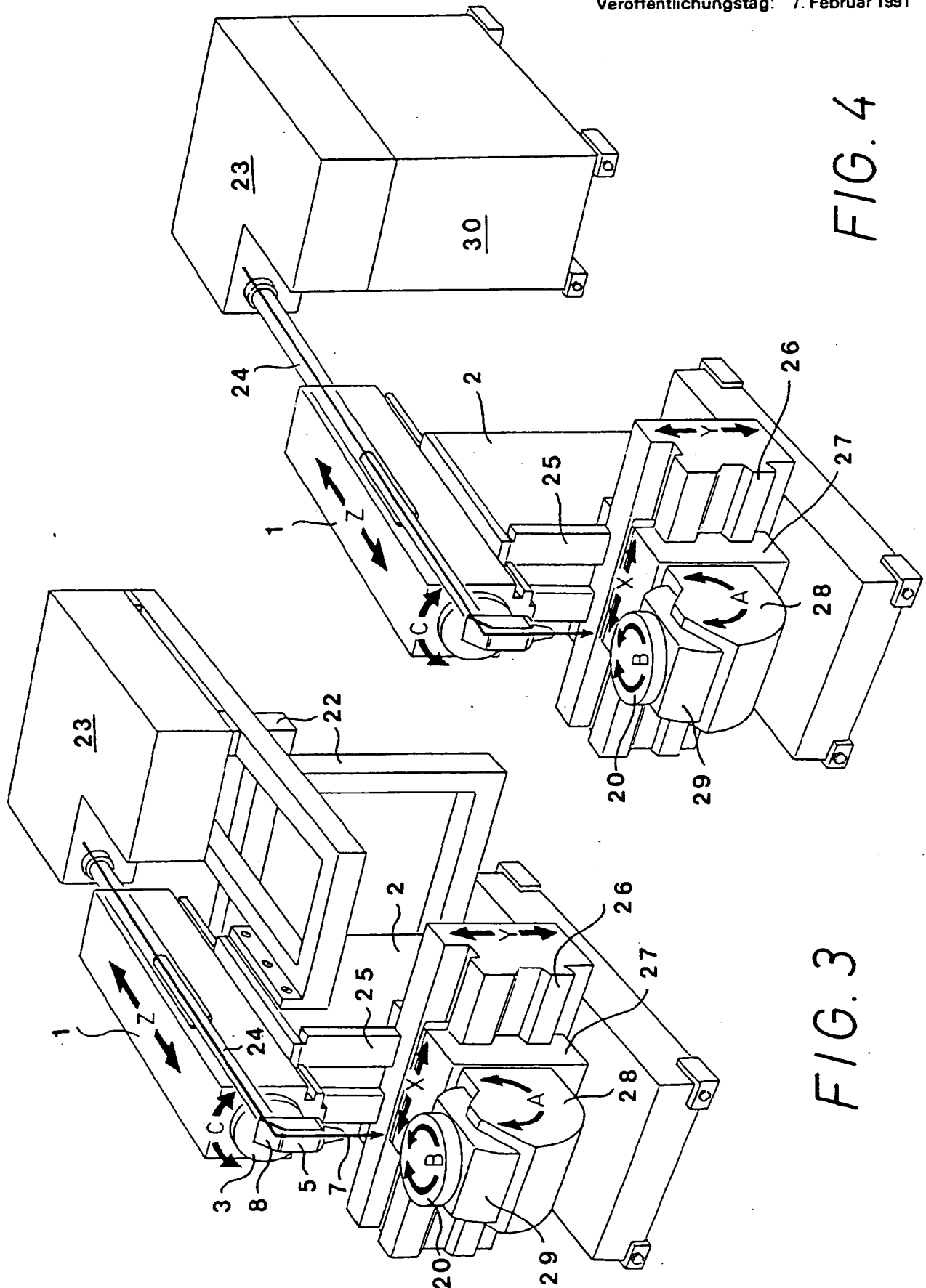


FIG. 5

